**ENERGIA NUCLEAR**

Obter energia térmica de uma coisa invisível, que das pessoas nascidas no século passado, poucas tinham conhecimento disso, e as pessoas que morreram antes de 1945, não chegaram a tomar conhecimento, do seu potencial e de seus riscos, é algo fantástico, mesmo atualmente.

**Definição de Átomo**

Ao usar a palavra átomo para definir as partículas fundamentais das quais o mundo é constituído, os gregos expressaram a sua crença de que estas partículas nunca poderiam ser fracionadas em partes ainda menores. Ouviram ou aprenderam de quem ?. A indivisibilidade do átomo foi a pedra angular desde Dalton (1805) até o final do século XIX,( 25 ). Átomo é pôr definição em grego, a menor porção da matéria, isto é, a menor unidade de um elemento químico dos conhecidos, na verdade estão catalogados 92, (atualmente mais de uma centena) na Tabela Periódica de Dimitri Mendelev, de 1869.

O menor átomo (hidrogênio) tem no mínimo um próton no núcleo e um elétron na sua órbita. O peso atômico, depende praticamente do núcleo, que pode conter vários prótons e vários neutrons, uma vez que a massa dos elétrons, é insignificante, quando comparada com a massa dos núcleos:

Elétron -------- - 1 e0 : Massa = 0,00055 u.m.a

Carga ev = -1,602 x 10-19 coulomb

Neutron -------- 0 n1 : Massa = 1, 00898 u.m.a.

Carga ev = neutra

Próton --------- + 1 p1 : Massa = 1, 00759 u.m.a.

Carga ev = +1,602 x 10-19 coulomb

Diante do exposto, dá para entender o abalo provocado com a descoberta de que certos átomos podem ser desintegrados ou desintegram-se espontaneamente, o que deu margem à experiências que tornaram possível o aproveitamento da fabulosa quantidade de energia liberada pelo núcleo do átomo na reação de fissão, ou seja quebra do núcleo do átomo, quando provocada violentamente.

**Reação de Fissão Nuclear**

A primeira vez que o homem demonstrou a fissão nuclear na madrugada de 16 de julho de 1945, as 5h29m45s, em Alamogordo, Novo México - USA, foi numa experiência secreta para fins bélicos, embora o motivo do desenvolvimento de tão poderosa arma já tivesse sido dominado, a Alemanha de Hitler, ainda havia o Japão, dos kamikazes fanáticos, parecendo que para dominar o inimigo havia necessidade de um golpe muito pesado para mostrar o poderio dos americanos, e em parte para vingar Pearl Harbor, e a mocidade sacrificada na guerra do Pacífico. O resultado, foram Hiroshima e Nagazaki, totalmente arrasadas, e podia ter sido Kioto, a capital da cultura religiosa japonesa, conforme esteve programado, porém o Secretário da Defesa Henry Stimson, de última hora mudou de idéia.( 26 )

Mesmo durante a guerra, os cientistas começaram pensar em aproveitar a energia da fissão do átomo do urânio, para fins pacíficos, embora as primeiras usinas nucleares de pequeno porte, tenham sido destinadas aos submarinos nucleares, grandes esforços foram necessários posteriormente, para produzir grandes reatores nucleares, para usinas de geração de energia elétrica, hoje tão disseminadas. Em meados de 1991 estavam em operação 438 usinas em 26 países ( 27 ).

O funcionamento de um reator de fissão nuclear, pode ser comparado a exercício de tiro ao alvo, onde o projetil usado é uma partícula atômica chamada neutron, e o alvo é o núcleo do átomo de um elemento físsil, que já apresenta equilíbrio instável, desintegração expontânea (radioatividade), por isso é considerado físsil.

**Radioatividade - Uma substância radioativa emite:**

1 ) - Partículas alfa ( a ), que são dos núcleos de átomos de hélio ou similar. Estas partículas logo encontram elétrons, transformando-se em átomos de outros elementos.

2 ) - Partículas beta ( b ), são uma espécie de elétrons rápidos emitidos pelos núcleos radioativos, considerando ainda que a emissão radioativa, venha acompanhada de uma partícula ainda menor, o neutrino. A perda de um elétron pelo material radioativo, ocorre porque o átomo torna-se sobrecarregado com neutrons e como o núcleo não contem elétrons, é preciso criar outro. Então um neutron (de massa maior do que o próton) se transforma em um próton e um elétron. O novo elemento tem o seu número aumentado de uma unidade, como no exemplo B.

3 ) - Raios gama ( g ), que constituem emanações eletromagnéticas do núcleo, são emitidos com a velocidade da luz e ocorrem quando um núcleo é excitado. Estas ondas são radiações de comprimento de onda mais curto, só perdendo para os raios cósmicos, até danosos aos tecidos vivos.

Uma reação nuclear de fissão ou reação em cadeia, ocorre quando um Neutron rápido, não muito rápido (relativístico), penetra o núcleo do átomo, provocando transformações intermediárias.

Exemplo A: O átomo do Urânio 235, obtido do U 238, reage dessa forma: ( 28 )

U 235 + n1 -------- U 236 instável ------- Ba 144 + Kr 90 + 2 n1 ( \* )

( \* ) No ato da quebra do núcleo existe possibilidade de formarem-se centenas de outros elementos, todos radioativos, como Césio, etc. liberando neutros e energia alem de partículas alfa, beta, gama, etc de baixa energia. Fragmentos da fissão (F1 e F2) de 166 mev, partículas beta e neutros rápidos 18 mev, raios gama 10 mev, neutros térmicos 6 mev, totalizando 200 mev liberados pela reação de fissão do U 235.

Esta unidade (ev) é usada em física nuclear eletronvolt e representa a energia, trabalho, no elétron, cuja carga é 1,6 x 10-19 (coulombs) quando este desloca-se, a velocidade constante através da diferença de potencial de um volt.

Exemplo B: O átomo de U 238 transforma-se em Pu 239, capturando um neutro rápido, ocorrendo as seguintes reações:

U 238 + n1 -------- U 239 + beta ------- e0 + Np 239 ------ e0 + Pu 239

Exemplo C: O átomo de tório Th 232 transforma-se em U 233, capturando um neutro rápido, mediante as reações a seguir:

Th 232 + n1 ------- Th 233 + gama ------- e0 + Pa 233 ------- e0 + U 233

O Urânio 238 e o Tório 232 naturais, são considerados elementos férteis, capturam um neutro rápido, tornando-se radioativos:

O U 239 radioativo, tem uma meia-vida curta (23,5 min), emitindo uma partícula beta e tornando-se Np 239 (neptúnio) criado nesta reação transitória, também é radioativo, tem vida de 2,2x106 anos, emite outra partícula beta tornando-se Pu 239, agora físsil, plutônio quebra-se quando atingido pelo neutro rápido, liberando energia.

O Th 233 radioativo, tem uma meia-vida de 23 minutos e 30 segundos, emitindo da mesma forma uma partícula gama, tornando-se Pa 233 (protactínio) radioativo, com meia-vida de 27,4 dias, emitindo outra partícula beta, transforma-se em U 233 fissionável.

No interior de uma massa critica de urânio ou plutônio, os núcleos ao sofrerem fissão, dividem-se em dois fragmentos desiguais, emitindo ainda em média 2,5 neutros rápidos, que dependendo da forma da massa (cubo, paralepipedos, lâmina, varão, esfera , etc) as reações tem condição de continuarem ou se extinguirem.

Os neutros rápidos, quando emitidos, tem velocidades fantásticas, então começam a sofrer choques e vão perdendo energia cinética (quando não escapam) até serem incorporados por um núcleo, que, tornando-se instável, entra em reação.

Para haver uma reação sustentada, deve existir uma massa crítica que nunca deve ser alcançada e uma quantidade de reação também controlada, para evitar explosão. Isso é o que acontece nos reatores para geração de energia elétrica, numa usina nuclear, pela baixa concentração do urânio.

A energia liberada numa reação de fissão nuclear de U235, é cerca de 200 mev, com velocidades da ordem de 3,7 km/s e temperatura em torno de 17 x 109 oC.

A energia acima, numa usina nuclear, é absorvida pôr um fluido térmico de refrigeração do reator, que transfere essa energia a outro fluido, num trocador de calor (caldeira) que gera o vapor d'água, tornando possível o acionamento de uma ou mais turbinas, em série, acopladas a geradores de energia elétrica, para aproveitar os níveis de energia cinética do vapor.

A melhor forma para a massa crítica (para uma bomba) é a esférica, de urânio 7,5 kg e de plutônio basta 1,0 kg, sendo que para o urânio, a velocidade do neutro é bem menor e para o plutônio se requer velocidade maior na aceleração, para iniciar a reação.

O conceito de massa crítica, não é suficiente, pois as reações dependem também do meio em que está inserida. Nos reatores de fissão nuclear, a substância físsil fica envolvida em ambiente que controla as reações, por exemplo, barras de urânio, mergulhadas em grafite.

**Elementos transurânicos**

A partir do elemento 89 (actínio), temos a série dos Actinídeos, na qual vamos encontrar os elementos transurânicos, que relacionamos a seguir, pelo isótopo mais estável e o número de massa radioativa:

N\*.......Elemento...........Símbolo...........Vida..............Massa  
90.......Tório....................Th...........23,5 min........... 233  
Pa.......Protactinio.............Pa...........27,4 dias...........233  
92.......Urânio...................U............23 min..............235  
93.......Neptúnio..............Np.........2,2x10a6 anos.......237  
94.......Plutônio.................Pu.........24,36 anos........239  
95.......Amerício................Am.........7951 anos.........243  
96.......Cúrio...................Cm...........17,6 anos...........244  
97.......Berkélio................Bk...........162,5 dias..........245  
98.......Califórnio..............Cf...........2,2 anos............252  
99.......Einstênio...............Es...........207 anos............253  
100.......Férmio................Fm...........80 dias.............253  
101.......Mendelévio..............Ml...........54 dias.............255  
102.......Nobélio..................No...........58 min..............253  
103.......Lawrêncio...............Lw............3 min..............257  
104.......Rutherfórdio............Rf...........14 miliseg..........255  
105.......Hánio.....................Ha...........1,8 seg.............253  
106.......Seabórguio..............Sg............10 seg..............257  
107.......Nielsbório..............Ns...........0,1 seg.............253  
108.......Hássio...................Hs...........2 miliseg...........255  
109.......Meitnerio...............Mt...........3,4 miliseg.........257

**Classificação das Usinas Nucleares**

As usinas nucleares são classificadas em função do fluido de resfriar o reator. Outra classificação separa os reatores em dois grupos. Os reatores de pesquisa e os reatores de potência. Os reatores de pesquisa são usados em Universidades e Institutos de Tecnologia, enquanto que os de potência geram energia elétrica, para uso geral.

Advanced Gas-cooled Reactor.........................AGR  
Boilling Water Reactor...................................BWR  
Light-water Grafited Moderator Reactor............LGR  
Gas Cooled Reactor......................................GCR  
Pressurized Water Reactor..............................PWR  
Pressurized Heavy Water Moderated Reactor...PHWR  
Light Water Boilling Reactor..........................LWBR  
Liquid Metal-cooled Fast Breeder Reactor.....LMFBR  
Gas Cooled Fast Breeder Reactor.................GCFBR  
High Thorium Gas Reactor.............................HTGR

Alem das usinas nucleares, espalhadas pelo mundo, em funcionamento, 72 estão em construção e 10 estão em projeto, para ajudar a resolver o problema do esgotamento das reservas de petróleo, pois foi a alternativa que realmente, teve força (graças ao potencial da fissão) para aliviar a necessidade sempre crescente de maior suprimento de energia elétrica.

Atualmente, urânio é o combustível das usinas nucleares, ele é encontrado na natureza, na forma de óxido de urânio. O urânio encontrado na natureza é na maior parte U 238, que contem 0,7 % de U 235, (isótopos) que é físsil liberando energia dentro de um reator. Potencialmente o tório também é matéria prima das usinas nucleares.

Os combustíveis de urânio usados nos reatores existentes, LWR liberam cerca de 20.000 vezes mais energia do que o peso equivalente de carvão, porem nos reatores regeneradores de última geração, LMFBR, a comparação chega 1,5 milhões de vezes mais energia do que o carvão, gerando energia elétrica mais barata, pois podem usar Th 233, Pu 239 e os resíduos dos reatores atuais, convenientemente reprocessados, pois esses reatores, produzem mais material fissionável do que consomem e podem teoricamente aproveitar até 80 % das reservas de urânio 238 e tório 232.(29)

Periodicamente as barras de combustível do reatores de fissão nuclear, devem ser retiradas, e enviadas a uma usina de reprocessamento, onde os produtos residuais da fissão são removidos, e o combustível não usado é refabricado e recolocado em novas barras, retornando a sua origem, sem problema, como provou o navio "Pacific Pintail" da British Nuclear Fuels, que saiu da França em 23 de fevereiro e chegou no porto japonês Mutsu Ogawara em 25 de abril de 1995, portanto 60 dias depois, pois fevereiro teve apenas 28 dias, apesar do barulho feito pelo pessoal do "Green Peace" a serviço e soldo das "seven sisters".

Na Rússia, Japão e Estados Unidos, está em desenvolvimento uma nova forma de gerar energia elétrica, trata-se do Gerador Magneto Hidrodinâmico ( MHD ). Os geradores magneto hidrodinâmicos, já construídos, são basicamente reatores de expansão dos gases de um combustível (carvão, gás natural, etc) queimado, numa câmara, parcialmente ionizados, quentes, que fluem por um conduto, forrado por eletrodos e envolto por bobinas de campo poderosas.

Quando o gás eletricamente condutor se desloca através do campo magnético, gera-se uma corrente contínua no gás, que é coletada pelos eletrodos, sendo que não tendo partes móveis, como as turbinas, podem suportar temperaturas elevadas (2.000oC) e gases corrosivos que destruiriam as turbinas convencionais, quando usando combustíveis abrasivos ou contendo enxofre, acrescido do fato de ainda ser aproveitado o calor dos gases a alta temperatura para gerar vapor superaquecido, para acionamento de turbinas e geradores de eletricidade convencionais, aumentando o aproveitamento da energia do combustível utilizado.

Dentre todas as formas alternativas de geração de energia elétrica, a fissão nuclear, foi a que mais apoio recebeu e que mais se desenvolveu, e conseqüente sua tecnologia avançou em todos os sentidos, nos 40 anos desde a primeira usina nuclear (1954) instalada pela Rússia.

O mundo sem petróleo, sem carvão, com as reservas hidrelétricas totalmente exploradas, tem na energia nuclear a única alternativa, capaz de produzir grandes blocos de energia elétrica, sendo que em artigo publicado na Revista Time de 3 de junho de 1991, John Greenwald e Barbara Rudolph, divulgam dados do U.S. Council for Energy Atomics, onde aparece, quanto de energia elétrica já é gerada pôr usinas nucleares, em relação ao total consumido:

França...................75 %  
Bélgica..................60 %  
Bulgária.................36 %  
Alemanha.................33 %  
Japão....................27 %  
Estados Unidos...........21 %  
Inglaterra...............20 %  
Rússia...................12 %

**Reação de Fusão Nuclear**

Enquanto a reação de fissão nuclear se baseia na "abertura" do núcleo do átomo de elementos pesados, pelo bombardeio do mesmo com neutros rápidos, a reação de fusão nuclear tem lugar a partir de núcleos de elementos leves, como o hidrogênio e seus isótopos.

Os cientistas sabem que o Sol é um reator de fusão nuclear, onde ocorrem reações a partir de núcleos de átomos de hidrogênio, que se fundem formando o elemento hélio, dos núcleos de 4 átomos de hidrogênio, cuja massa dos 4 prótons, sofre aumento quando 2 prótons são transformados em neutrons, de massa maior, provavelmente pela reação inversa da que ocorre, descrita no item 2 sobre Radiação, embora o hélio só conserve 2 dos elétrons dos 4 átomos de hidrogênio, quando colidem a níveis de energia tão elevados que não mais se separam, e em sendo uma reação endotérmica, o combustível da fornalha solar um dia vai se esgotar, como já aconteceu com outras estrelas.

Na superfície da terra, torna-se difícil reproduzir as condições da fornalha solar e alem disso, o consumo de energia também aparece maior do que a energia liberada. Atualmente a fusão nuclear ainda está nos estágios da pesquisa, para fins civis, mas a bomba de hidrogênio, já existe.

Os pesquisadores desde o início da década de 50, imaginaram dominar a fusão nuclear dentro de 20 anos, porém foram bastante otimistas, pois os ingredientes, isótopos de hidrogênio (deutério, títrio, etc) em presença de um catalisador da reação de fusão (lítio), necessitam de 100 milhões de graus Celssius, para formar hélio e depois o plasma, para ceder calor a um processo de gerar vapor, ou cortar campo magnético, para gerar eletricidade (MHD), precisa ser controlado.

A tal temperatura, os elétrons dos átomos, separam-se dos núcleos carregados positivamente. Nessas condições, o gás se compõe de núcleos atômicos livres dos elétrons, que nesse estado tem o nome de plasma e torna-se eletricamente condutor.

O problema básico da reação de fusão nuclear, é manter o plasma, controlado, a temperatura tão elevada, de modo estável, afastado do material das paredes do sistema, pelo tempo necessário, pois o plasma a alta temperatura, tem a tendência de se expandir, já que as partículas alcançam velocidades da ordem um milhão de quilômetros por minuto, por isso precisa de ser confinado de alguma forma.

No Sol a força gravitacional faz esse trabalho, mas reproduzir na terra as mesmas condições do Sol, ou uma que seja ideal ao processo ou perto das condições solares, parecia a princípio, impossível. Partindo desse raciocínio, o problema passou a ser confinar o plasma quente, pois nenhum material conhecido suportaria tal temperatura, sem contaminar o plasma, sem vaporizar-se, estável.

Aparentemente a solução do problema, foi encontrada no vaso de alto vácuo, com o plasma sem tocar o material das paredes, por meio de um poderoso campo magnético, conhecido como "Câmara Magnética Toroidal" no Laboratório de Pesquisa de Plasma de Princenton - USA, (projeto desenvolvido pela Rússia) e outro desenvolvido pelo Laboratório Lawrense Livermore - USA, chamado "Espelhos Magnéticos em Tanden". Em desuso.

O primeiro passou a ser adotado, por todo grande laboratório de pesquisa de plasma, no Japão, Rússia, Inglaterra, Estados Unidos, ele tem a forma interna de uma câmara de ar de pneu, também conhecido como TOKAMAK, que é essencialmente um transformador, cujo primário é composto de vários campos magnéticos radiais, dispostos de modo convencional e o secundário é formado pelo plasma. É no anel anular interno que o plasma comprimido, pelo campo, é mantido magneticamente sem contato com as paredes do toróide, em dois estágios.

Pelos dados construtivos, o Tokamak, é constituído de :

8 octantes primários  
2 anéis superior e inferior  
2 colares  
1 toróide  
1 trocador de calor primário  
1 trocador de calor secundário  
1 sistema de injeção de neutrons  
1 sistema de refrigeração  
1 sistema de aquecimento elétrico  
1 sistema de controle de temperatura

Existiram outros projetos, como o "Bumpy Torus", o "Stellarator", o "Riggatron", variáveis do Tokamak, que não lograram tornarem-se viáveis, de serem construídos.

O Ministério da Energia dos Estados Unidos, anunciava em 1980, planos para uma versão moderna do Tokamak, para fusão nuclear, tratava-se do Torsatron, para operação contínua, para associar ao Tokamak, para alcançar maior eficiência, do ponto de vista do balanço energético.

Alguns cientistas americanos, estimaram que outro tratamento da fusão nuclear, combustível aquecido a laser, teria sucesso, desde que verbas para desenvolver o projeto, estivessem disponíveis, para a fusão a laser, para construir um reator experimental, surgindo então o ITER.

Como não teve muito sucesso as outras formas de fusão nuclear, do ponto de vista de balanço térmico, os cientistas ainda acreditam na viabilidade da fusão a laser de alta potência, por isso muitos países expandiram as pesquisas, com o laser. sem resultado, até que a U.S. Atomic Energy Comission, em 1971, revelou detalhes de um novo método com laser, aquecendo os isótopos de hidrogênio, com vários lasers simultaneamente de todos os lados, para obter mais energia de compressão. A Rússia tinha o maior programa de fusão a laser, na década de 80. Nos Estados Unidos, programas intensivos de pesquisas, foram montados no Lawrense Livermore Laboratory, no Los Alamos Scientific Laboratory, e na Universidade de Rochester, sob o patrocínio da General Electric e Exxon Research.

**Segurança nas Usinas Nucleares**

O resíduo radiativo, resultante da reação da fissão nuclear do U 235, é conhecido como o lixo atômico, que tanto preocupa a humanidade, pois alem de possíveis acidentes, com as usinas propriamente ditas, existe a possibilidade dos resíduos, contaminarem as águas e solos depois de descartados, caso ocorra algum imprevisto, pois só saberão disso outras gerações, muitos séculos depois.

Furnas, que está construindo Angra 1 e Angra 2, distribuiu uma espécie de cartilha, que na parte de Resíduos, afirmava: Para evitar escapamento descontrolado de resíduos para o ambiente, foram projetadas e construídas uma série de barreiras de contenção da radiação, enumeradas a seguir:

1a Barreira - Ao queimar-se o combustível nuclear, os resíduos radioativos, ficam no interior do reator, agregados ao urânio.

2a Barreira - A pequena quantidade restante, que se desprende do combustível, fica confinada nos tubos que formam os recipientes do combustível.

3a Barreira - Se, apesar de tudo, escapar alguma partícula, ela passaria ao fluido refrigerante, em forma de gás ou sólido, ficando confinada no circuito fechado no qual circula o refrigerante.

4a Barreira - Existe mais uma, denominada envoltório de contenção do reator, que está projetada para garantir que resíduos não contaminem ambiente.

Afirmam ainda: "Existem também, substâncias radioativas no refrigerante do reator, como conseqüência do ataque (irradiação) por neutrons, dos diversos componentes e estruturas que se encontram no circuito do reator, tais como o aço do recipiente e tubos, o meio que serve de refrigerante e alguns materiais que, em forma de impureza, se encontram no circuito".

Alem disso sempre se interpõe uma blindagem ( água, concreto ou chumbo ) ao redor do combustível, para absorver a radiação que este emite, de tal forma que o operador não sofra qualquer dano. Os elementos combustíveis gastos extraídos do reator, são introduzidos em piscinas de concreto revestidas de aço inox, cheias de água, com a finalidade de armazená-los durante certo período de tempo, para que (esfrie) sua radioatividade diminua.

Desde a descoberta da radioatividade no começo deste século, a proteção do homem tem sido a preocupação e meta perene no planejamento, operação e regulamentação das instalações radioativas. A preocupação universal sobre os efeitos radio-biológicos, em todos os setores da atividade nuclear, levou os países industrializados a conduzirem gigantescos programas voltados para a segurança do homem e proteção ecológica.

As usinas nucleares são consideradas pelos especialistas, como fontes de energia limpas, quando comparadas com as termelétricas, que liberam cinzas, ácidos, óxidos (CO2, SO2, NO2) e partículas sólidas de combustíveis. É verdade que nas usinas nucleares, qualquer escapamento contem (Ra 226) radioatividade, que no caso particular da Central Nuclear de Angra dos Reis, desde 1978, funciona em Mambucaba, a dez quilômetros de Angra, o Laboratório de Monitoração Ambiental, implantado e operado por Furnas Centrais Elétricas, protegendo uma população de 100 mil pessoas, gravitando entre Angra e Parati, mais o ar, a terra e a água que as mantêm vivas.

O trabalho de pesquisa na região começou em 1969, com coleta de amostras e dados, para comparação com outras colhidas, depois do início do funcionamento de Angra 1. O laboratório trabalha em parceria com CNEN, FEEMA e várias instituições de ensino superior (Universidade de Santa Ursula, Federais do Rio de Janeiro, do Rio Grande do Sul, de Minas Gerais, Federal Rural de Pernambuco, Sociedade de Ensino Superior de Barra-Mansa e Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, como um centro irradiador de conhecimento científico ambiental de primeiro mundo.

Informações liberadas pelos cientistas da Comissão de Controle e Efeito, do Japão, encarregada de acompanhar os danos causados, com o lançamento das bombas atômicas em 6 e 9 de agosto de 1945, sobre Hiroshima e Nagazaki, dão conta, que até o final daquele ano, já haviam morrido 140.000 pessoas, e que até 1950 eram 200.000 mortos, alem dos estragos causados, naquelas duas cidades.

Lá aconteceram os temidos 5 efeitos:

1 - Radiação nuclear inicial  
2 - Pulso eletromagnético  
3 - Pulso térmico  
4 - Onda de choque  
5 - Poeira radioativa

1 - Em um milionésimo de segundo, o gás da fissão, (ponto brilhante), a radiação mata a 15 km de distância do centro da explosão nuclear, quem foi contaminado.

2 - Em um milésimo de segundo, (bola de 150 metros de diâmetro), ocorre o pulso magnético, que pode provocar colapso energético num país inteiro, danificando até 200 km de altura.

3 - Em dois segundos, um Sol de 4,5 km de diâmetro, queima tudo num raio de 5 km, matando ou cegando quem não estiver protegido.

4 - Em cinco segundos, a onda de choque de uma bomba de um megaton destroi tudo num raio de 7 km.

5 - Cada bomba contamina 2.500 km2 matando 50% da população.

Há ainda outros efeitos não mencionados acima, destruição da camada de ozônio da terra, alterando as condições atmosféricas, provocando efeito estufa, aumentando a radioatividade, a temperatura do globo, modificando climas e nível dos oceanos.

Ultimamente, depois de alguns acidentes com usinas nucleares, nos Estados Unidos e na Rússia, os cientistas, preocupam-se, se tiverem que inundar rapidamente um reator descontrolado, surgindo o choque térmico, provocando esforços no vaso de pressão, que não puderam ser simulados, por falta de dados confiáveis.

Outro grande problema começa quando os neutrons atingem as paredes do reator, deslocando átomos do aço, modificando a resistência da estrutura cristalina original, principalmente nas junções soldadas, podendo provocar fissuras depois de alguns anos de uso, não obstante a margem de segurança.

**Usinas Nucleares do Mundo**

Entre usinas em funcionamento, em construção e em projeto, somam-se mais de quinhentas, havendo predominância das tipo LWR, BWR e PWR, todas consideradas obsoletas e antieconómicas, diante das potencialidades de aproveitamento de combustível nuclear, dos LMFBR e GCFBR, reatores rápidos de regeneração, também conhecidos como "breeders", nos quais os cientistas, depositavam esperança de reduzir o lixo atômico, há várias décadas.

A energia liberada pelos reatores de regeneração, como dos outros reatores nucleares, vem da fissão de átomos de urânio ou plutônio. Em reatores de fissão antigos, mais de dois neutrons são necessários para manter a reação em cadeia, portanto nos reatores antigos, mesmo reaproveitando o plutônio, reciclando, aqueles reatores aproveitam apenas 2 % do urânio extraído.

Em contraste os reatores de regeneração, para converter isótopos férteis dos elementos pesados em novos suprimentos de combustível fissionável, devido a sua economia de neutros, podem aproveitar 60 a 70 %, o que alem de reduzir os resíduos, fazem as reservas de combustíveis nucleares terem maior durabilidade, sem se esgotarem.

Os reatores regeneradores "queimam" urânio ou plutônio, e ao mesmo tempo convertem o tório Th 232 e o U 238 em, respectivamente, U 233 e Pu 239, que são materiais fissionáveis. No processo de conversão, um Neutron é captado pelo núcleo de um átomo fértil e partículas beta (elétrons) são liberadas. O ciclo Th 232 em U 233, é viável também em um chamado reator térmico, em que os neutrons são retardados por colisões com um moderador (geralmente água ou grafita) a energias de cerca de 100 eletronvolts. O ciclo U 238 em Pu 239, é mais eficiente e pode usar neutrons descontrolados com energia milhares de vezes mais altas, e os reatores baseados nesse conceito são conhecidos como reatores rápidos.

A ausência de um moderador em um reator rápido tem as vantagens, de que menos neutrons são absorvidos improdutivamente, de modo que mais combustível novo é criado a uma taxa maior, e o núcleo do reator poder ser consideravelmente menor. Em teoria, quanto mais eficiente o uso de neutrons num reator, mais baixo o custo da energia que ele produz.

Os reatores de Angra 1, 2 e 3 são do tipo PWR, tudo indicando que Angra 2 receberá seu primeiro abastecimento de combustível em 1998, para os testes finais, devendo entrar em operação normal em 1999, tendo sido gastos já 4,6 bilhões de dólares, faltando ainda investir 1,3 bilhões, sendo que Bancos Alemães garantem 40%, Furnas 32%, Eletrobrás 24% e BNDES 4%, já equacionados.

**Reservas de Urânio**

No Brasil, pesquisa-se urânio desde 1952, porém geólogos brasileiros só entraram em ação a partir de 1962, quando começou o convênio com a França, depois que os geólogos americanos, deixaram o país. Por volta de dezembro de 1981, as reservas conhecidas e pesquisadas, apontavam 266 mil toneladas métricas de U3 O8 conforme divulgado pela Nuclebrás.

Agora divulgação da Revista Brasil Nuclear - Set. 1994, da Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN) publica um total de 301.490 toneldas métricas, onde apesar do aumento, nota-se ausência de alguma reservas.

Como não apareceram várias reservas, anteriormente citadas, porém aparece Mina do Cercado/MG com a expressiva cifra de 20 mil toneladas, acredita-se que seja uma jazida nova, uma vez que a extensão territorial do Brasil e sua geologia é favorável a existência do minério de urânio em outras áreas. Consta que a mina de Poços de Caldas já está esgotada. Será necessário um trabalho ordenado de pesquisa, para reavaliar, para poder divulgar o potencial uranífero brasileiro.

**Enriquecimento de Urânio no Brasil**

O minério de urânio encontrado na litosfera contém 0,07 % de U 235 e 99, 93 % de U 238. U 235 já é físsil, isto é, quando concentrado necessita de menos energia para entrar em reação, enquanto que o U 238, que é fértil, necessita de enorme quantidade de energia, para enriquecer e reagir.

Para separar o U 235 do U 238, provoca-se uma reação entre o U 235 e o gás Flúor, dando U F6, (hexa fluoreto de urânio) que depois é concentrado, dando o "yellow cake", que é enviado para a Inglaterra, para enriquecimento isotópico, aumentando a sua concentração para 3,4 % na Urenco, reconvertido em pó ( U O2 ) é reduzido a pequenas pastilhas de aparência metálica, que são montadas no Brasil na Fábrica de Elementos Combustíveis, das Industrias Nucleares Brasileiras, antiga Nuclebrás, em Resende no Rio de Janeiro, cujo objetivo é industrializar todo ciclo do urânio, no Brasil.

As marchas e contramarchas do Programa Nuclear Brasileiro, associado também à dificuldades de enriquecimento pelo processo "jet nozzle" cedido pela Alemanha, já superado pelas ultra-centrifugas da Urenco, fizeram com que o Brasil, adotasse o Programa Autônomo, conduzido pela Coordenação de Projetos Especiais da Marinha, nos laboratórios de Aramar em São Paulo, usando ultra-centrifugação, obtida da parceria com a Argentina.

Com a previsão do término e entrada em funcionamento da usina Angra 2, nasceu uma certa euforia no setor de energia nuclear brasileiro, para compensar o desmonte ocorrido em 1988, quando toda uma estrutura integrada e sistêmica, foi desfeita, passando a Nuclen (engenharia) para a Eletrobrás, a Nuclep (fábrica de equipamentos pesados de Itaguaí-RJ) para a CNEN e o restante da Nuclebrás, foi incorporado numa nova empresa de nome: Industrias Nucleares Brasileira, que assumiu o complexo de Resende, explora a mineração e fábrica de "yellow cake" em Poços de Caldas-MG e planeja assumir o controle da mineração de urânio em Lagoa Real-BA., para beneficiamento em Poços de Caldas-MG.

**Aproveitamento da Energia Nuclear**

A energia liberada pela fissão ou fusão nuclear é transferida para o fluido que refrigera o vaso de pressão, controlando o reator, ou para o plasma, no caso de fusão nuclear, sendo que depois, por meio de trocador de calor, gera-se o vapor que aciona as turbinas que movem os geradores de eletricidade, que é a função principal das Usinas Nucleares.

Com a fissão nuclear controlada no interior do reator, a água é aquecida a 315oC, sem transformar-se em vapor em virtude da pressão de 57 atmosferas. Essa água assim aquecida é bombeada através das tubulações, passando pelos geradores de vapor.

A água do circuito secundário, existente nos geradores de vapor, em contato com as tubulações contendo a água pressurizada do circuito primário, transforma-se em vapor que movimenta os turbo geradores de eletricidade. O vapor usado pelas turbinas é passado em condensadores, onde volta ao estado líquido, sendo outra vez bombeado para os geradores de vapor. A água usada na refrigeração dos condensadores, volta ao mar por uma tubulação de 1.000 metros, perdendo temperatura, até a descarga a 12oC, no oceano ou lago.

**O Lixo Atômico**

O lixo atômico, na forma sólida ou líquida, após passar um ano "esfriando" numa piscina, representa ainda um perigo latente, em virtude de haver pouco conhecimento do que poderá acontecer milhares de anos depois, com outras gerações ou civilizações, mesmo acondicionado em recipientes de aço inox.

**Reservas de Tório**

O Bureaux of Mines - USA, calcula as reservas mundiais de tório em 1.587 mil toneladas, de óxido de tório ( Th O2 ), material fértil, quando beneficiado, é comercializado sob a forma de concentrado de sais de tório:

Estados Unidos...............540  
Índia........................500  
Canadá.......................200  
Rússia.......................180  
África........................90  
Brasil........................37  
Malásia.......................18  
Groenlândia...................13  
Austrália......................9  
Total......................1.587

Com o desenvolvimento dos reatores HTGR, GCFR e LMFBR, (regeneradores) melhora nossa posição energética, pela existência de jazidas comprovadas de tório, encontradas na areia monazítica, desde a praia Itabapoana nos limites do Rio com Espirito Santo, até a praia de Joacena, na Bahia, com cerca de 700 km. As areias monazíticas, contém 5 a 6 % de óxido de tório, cério, lantânio e pequena porcentagem de urânio, sendo nossas reservas avaliadas em 95,5 mil toneladas, porém medidas apenas 37 mil.

A parte mineral pesada da areia monazítica, ilmenita, maior parte, zirconita, pequena parte e até 10% de magnetita, rutilo e monazíta, de onde se extrai o tório ThO2.( 30 )

Fontes: Enciclopédia Digital , Almanaque Abril 97 , Enciclopédia da Ciência , Home Pages da Web .